外的塩害を受けた鉄筋コンクリート構造物の追跡調査

ＪＲ西日本　正会員　○丸山　直樹・田中　善之
鉄道総合技術研究所　正会員　飯島　亨

１．はじめに

滋賀県北部の積雪地域に位置する駅では、ホーム上の積雪を解かすために融雪剤の散布が行われている。長期間の散布により融雪剤に含まれる塩化物イオンが浸透した鉄筋コンクリート造のホーム橋脚においては、錆汁が見られ、さらにかぶりコンクリートの浮きが顕著であったために、5 年前に塩分吸着剤を用いた断面修復工法（SSI 工法）[1)]を用いて補修を行った（写真 1）。本報告では、塩害対策工法を施工した鉄筋コンクリートホーム橋脚を対象として、非破壊あるいは破壊検査による鉄筋腐食診断と塩化物イオン量の調査を実施したので、その結果を報告するとともに、5 年間の塩害抑制効果を評価する。

写真 1　SSI 補修済ホーム橋脚

以下に SSI 工法の概要を説明する。劣化したかぶりコンクリートを鉄筋部分まではつりとり、鉄筋をケレンした後、表面に防錆ペーストを塗布する。断面修復は、鉄筋付近は防錆モルタルを充填し、そこからコンクリート表面までは緻密なモルタルで修復する。SSI 工法で用いられる塩分吸着剤は塩化物イオン（Cl^-）を吸着し、亜硝酸イオン（NO_2^-）を放出する機能を有する。亜硝酸イオンは鉄筋の不動態皮膜を回復させ腐食進行を抑える。

２．調査内容およびその結果

２．１　補正自然電位[2)]による鉄筋腐食診断

図 1 に、補修直前から補修後の時間経過に伴うホーム橋脚の各部分で測定した補正自然電位の変化を示す。なお、図中の経過月数 0 ヶ月は補修直前の時点を示している。この図より、補修直前はほとんどが－400mV～－600mV であることがわかる。補修施工時の記録では、鉄筋は断面欠損が見受けられるような腐食状態であった。施工 17 ヶ月後を過ぎた頃からは、時間の経過とともに、補正自然電位は－200mV から－300mV の範囲内にほぼ収束し、鉄筋の腐食状態が改善されていることが推定される。

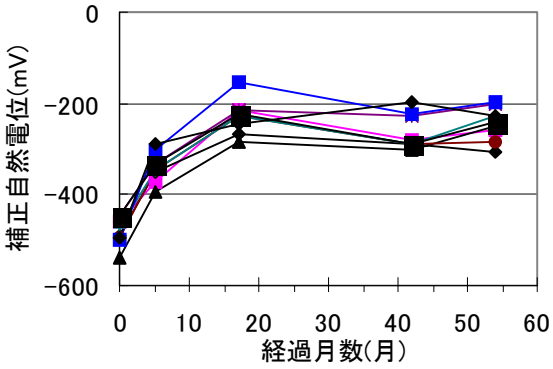

図１　補正自然電位の変化

表１　補正自然電位と鉄筋腐食度

補正自然電位	腐食度	評価基準
-250mV<E	0	腐食がない状態
-350mV<E≦-250mV	Ⅰ	表面に僅かな点錆
-450mV<E≦-350mV	Ⅱa	薄い浮き錆
-E≦-450mV	Ⅱb 以上	膨張性の錆・断面欠損

(銅/硫酸銅照合電極基準)

２．２　コアサンプルによる塩化物イオン量調査

図 2 に、補修した橋脚と未補修の橋脚におけるコンクリート表面からの塩化物イオン量の分布状況を示す。補修した橋脚の躯体コンクリート部分と未補修橋脚の同位置の塩化物イオン量を比較すると、補修した橋脚において塩化物イオン量が大きく減少しており、防錆モルタルの塩化物イオン吸着作用の効果によるものと推定される。

キーワード　SSI 工法、塩害、塩化物イオン、補正自然電位、凍結防止剤
連絡先：京都市南区西九条北ノ内町 5-5　JR 西日本　京都土木技術センター　℡ 075-682-8116

２．３　鉄筋の腐食状況

補修したホーム橋脚の鉄筋腐食状況を詳細に調べるために鉄筋の一部を切り出した。その鉄筋の腐食状況を写真 2 に示す。写真中の点線で囲んだ範囲は補修時に鉄筋の腐食が認められていた部分である。写真より取り出した鉄筋の腐食状況は腐食度Ⅰ程度（表面に僅かな点錆がある状態）であることがわかる。また、未補修箇所のかぶりコンクリートを鉄筋位置まではつり出して腐食状況を確認したところ、腐食度Ⅱa（薄い浮き錆がある状態）であったことから、SSI 工法を施工したことにより抑制されていることが直接確認できた。

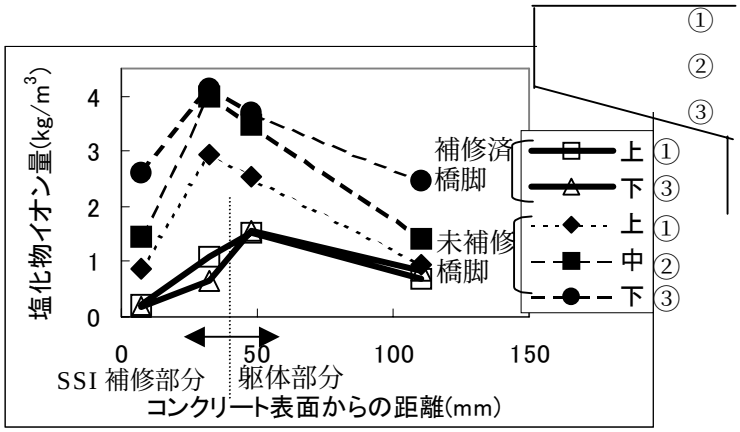

図 2　塩化物イオンの分布

写真 2　橋脚内部より切り出した鉄筋

２．４　塩化物イオン量と亜硝酸イオン量の相関関係からみた鉄筋腐食抑制効果

図 2 をみると、補修後の躯体部分の塩化物イオン量は 1.5kg/m³ 程度で、2002 年制定コンクリート標準示方書［施工編］（土木学会）で定められている塩化物イオンによる発錆限界濃度の標準値 1.2kg/m³ を超えているが、実際には、２．３で示したように鉄筋腐食の進行は抑制されていた。既往の研究[3]によると、亜硝酸イオンによる鉄筋の防錆効果は、亜硝酸イオン量と塩化物イオン量のモル比で評価でき、その値が 0.6 以上であれば塩化物イオンが存在しても鉄筋の防錆できると提案している。今回調査した箇所において鉄筋近傍での塩化物イオン及び亜硝酸イオンの量を調べた結果は表 2 のとおりである。塩化物イオン量が発錆限界量を超えていても、鉄筋腐食の進行が抑制された理由として、表 2 中の NO_2^-/Cl^- の値が 0.65 であったことから判断して、塩分吸着材の塩化物イオンの吸着と亜硝酸イオンの放出との相乗効果によるものと推定できる。

表 2　鉄筋近傍での Cl^- 及び NO_2^- 量

可溶性塩化物イオン量(kg/m³)	1.44
亜硝酸イオン量(kg/m³)	0.86
NO_2^-/Cl^- モル比	0.65

３．表面処理工法施工箇所の塩化物イオン量の分布

ホーム橋脚の下の高架橋躯体は、建設当初に表面処理工法を施工しており、ホーム橋脚と比較してコンクリートの劣化状況は軽微であった。表面処理工法を施工した箇所と未施工箇所での塩化物イオン量を比較したグラフを図 3 に示す。これによれば、表面処理工法を施工した箇所では未施工箇所に比べ、塩化物イオンの浸透量は小さくなっており、ホーム橋脚を伝って浸透する塩化物イオンを抑制していた。

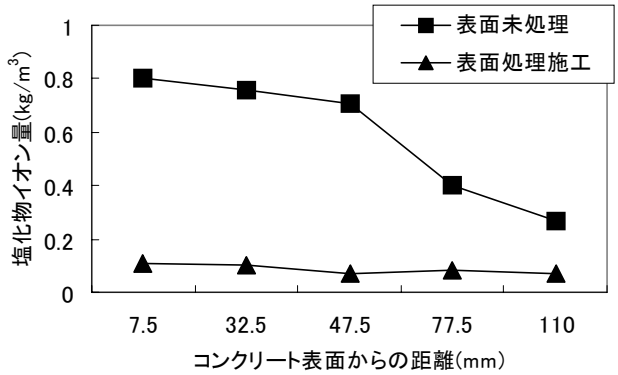

図 3　表面処理箇所の塩化物イオン分布

４．今後の課題

今回、SSI 工法の塩害抑制、鉄筋腐食抑制の効果が持続していることが確認された。しかし、塩化物イオンを含んだ融雪剤の散布が続けば、再び塩化物イオンが浸透し、再劣化する可能性がある。今後も劣化した箇所を SSI 工法などの鉄筋防錆効果の高い工法で補修するとともに、塩化物イオンを含まない融雪剤の試験散布を行うなど、多面的に塩害抑制に取り組む予定である。

参考文献：1）飯島亨ら：塩化物イオン吸着剤を活用した塩害抑制工法－融雪剤による劣化構造物への適用－第 43 回材研連論文集,1999.10　2）佐々木孝彦ら：コンクリート工学年次論文報告集,Vol.18 No.1,pp.801 ～806,1996.7　3）A.M.Rosenberg, et al: the Inhibition of Chloride-Induced Corrosion in Reinforced Concrete by Calcium Nitrite, American Society for Testing and Materials, 1980